

文章编号: 1008-2786-(2009)1-005-09

# 山地河流的河相关系及其变化趋势 ——以怒江、澜沧江和金沙江云南河段为例

王随继<sup>1</sup>, 魏全伟<sup>2</sup>, 谭利华<sup>2</sup>, 闵石头<sup>1,3</sup>, 冉立山<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. 北京师范大学地理与遥感科学学院, 北京 100875 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 河相关系理论迄今总是应用于冲积河流的研究中并取得了很好的效果, 但尚未应用在非冲积性山地河流的研究中。河相关系理论是否适用于非冲积性河流的研究? 该研究选取滇西山地河流, 以怒江道街坝、澜沧江旧州和景洪、以及金沙江石鼓 4 个水文站的历年实测水文资料为基础, 探讨了上述 4 站有水文资料记载时段的历年及多年的流量~河宽、流量~水深、流量~流速关系, 揭示其年际变化特征。结果显示, 河相关系理论在非冲积性河流当中同样存在很好的效果, 表明山地非冲积性河流与冲积河流在河道演变中遵循类似的规律。研究区北段从西部的怒江到中部的澜沧江, 再到东部的金沙江, 其河相关系的年际变化幅度逐渐减小, 与它们受到构造抬升的影响减弱相适应。澜沧江河相关系的年际变化在北部相对不明显, 在南部则相对显著, 这与其南北两段的地貌分异有关, 也与中下游的大坝建设等人类活动引起南部河床的冲淤强度的增大有关。系数积及指数和表明, 山地河流由于受到基岩边界的影响, 其流水断面的调整中河宽、水深和流速之间的协调能力比冲积性河流的小。另外, 建立了流水断面宽深比与流量之间的河相关系式, 丰富了河相关系的研究内容, 并在研究区不同河流、不同河段的流量预测或断面形态预测中具有重要的意义。

**关键词:** 河相关系; 山地河流; 怒江; 澜沧江; 金沙江; 云南

**中图分类号:** P931.1, P941.77

**文献标识码:** A

河相关系最初是由 Lacey<sup>[1]</sup>对印度、巴基斯坦等一些南亚国家灌溉渠道的大量实测资料的分析基础上总结出来的有关渠道形态与流量之间的经验关系。后来, Leopold 和 Maddock<sup>[2]</sup>将河相关系的研究进一步推广到冲积河流的研究中, 认为处于准平衡状态的冲积河流, 其河宽 ( $B$ )、平均水深 ( $H$ )、平均流速 ( $U$ ) 与流量 ( $Q$ ) 之间, 同样存在着幂函数关系:

$$B = aQ^b \quad (1)$$

$$H = aQ^f \quad (2)$$

$$U = kQ^m \quad (3)$$

根据上述三式和水流连续方程 ( $Q = BHU$ ), 可以得出:  $a^* \cdot c^* \cdot k = 1$ ,  $b + f + m = 1$ <sup>[3]</sup>。

上述经验方程现在成为研究河相关系时普遍使

用的方程, 并在世界不同河流的研究中广泛运用<sup>[4-15]</sup>: 有侧重断面河相关系的研究<sup>[16-17]</sup>, 也有侧重沿流程各断面河相关系的比较研究<sup>[18-21]</sup>, 一些学者得出河相关系沿流程的相似性<sup>[20]</sup>, 也有学者得出河相关系沿流程的不稳定性<sup>[18-22]</sup>。个别学者通过上述方程指数  $b-f-m$  的三角图解研究了河相关系的沿程变化情况<sup>[23]</sup>。还有学者尝试对上述方程进行深度解释及扩展<sup>[24-25]</sup>。无论如何, 河相关系的研究有着重要的意义, 因为可以用之来建立某一特定河流的流水断面几何形态与其流量的关系, 揭示流水主导下的河道调整规律, 还可以用来估计已知形态下的河流流量及流速<sup>[26]</sup>。

不过, 上述方程式迄今总是应用在中下游的

收稿日期 (Received date): 2008-07-11; 改回日期 (Accepted): 2008-10-20.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 资助 (项目编号: 2003CB415101) (The National Basic Research Program, No 2003CB415101)

作者简介 (Biography): 王随继 (1966-): 男, 甘肃静宁人, 博士, 副研究员, 研究方向为河流地貌与河流沉积学。[Wang Suiji, male, born in Jingning, Gansu, PhD, mainly study on fluvial geomorphology and sedimentology] Tel 010-64889036 Email wangs@igsrr.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究中, 尽管 Andrews<sup>[27]</sup> 以及 Millar<sup>[28]</sup> 研究了砾质河床的河相关系, Whole等<sup>[29]</sup> 在河段尺度上尝试研究了一条山地河流的河相关系, 但是, 相对于众多的山地河流 (尤其以基岩及卵石为河道边界的河流) 来说还远远不够。为了揭示山地河流的特性及其水流断面几何形态与流量之间的内在联系, 在此以滇西怒江、澜沧江和金沙江为例尝试将适用于冲积河流的河相关系及指标体系引申于山地河流的研究中。尽管山地河流的河床几乎都是由坚硬的基岩或卵石组成, 与冲积河流的砾质、砂质或粉砂质河床具有显著的差别, 同时, 相对于冲积河流来说, 山地河流的河道比降数值相对较大, 河道较陡。但是, 从理论上讲, 河道的几何形态是在各种外在因素影响下由流水的调整而形成的, 因此, 无论是冲积河流还是山地河流, 本应该遵循同样的规律。这是将河相关系扩展至山地河流研究的出发点。该研究选取滇西的怒江道街坝站、澜沧江旧州站以及景洪站、金沙江石鼓站作为研究断面 (图 1), 以多年实测水文资料为基础, 来研究山地河流的河相关系及变化特征。

## 1 怒江、澜沧江、金沙江河相关系特征

### 1.1 河相关系的年际变化

求取纵向岭谷区怒江、澜沧江、金沙江相关水文站点历年的河相关系, 实际上是通过历年流水断面的水面宽~流量、平均水深~流量、平均流速~流量的散点数据进行幂函数拟合, 从而求得上述关系式中的系数 ( $a, c, k$ ) 和指数 ( $b, f, m$ )。当这些系数和指数确定了, 那么当年该站点的河相关系也就确定了。

#### 1.1.1 系数 $a$ 和指数 $b$ 的年际变化

怒江道街坝站、澜沧江旧州站和景洪站、金沙江石鼓站历年河宽~流量关系 ( $B = aQ^b$ ) 的系数  $a$  和指数  $b$  的变化趋势如图 2 所示。显然, 河宽~流量关系中的系数  $a$  和指数  $b$  的年际变化在 4 个断面均具有一定的波动性, 可分为两种类型: 道街坝站和景洪站的系数  $a$  总体上呈年际减小的变化趋势, 而指数  $b$  则呈年际增大的变化趋势。旧州站和石鼓站的系数  $a$  总体上呈年际增大的变化趋势, 而指数  $b$  则

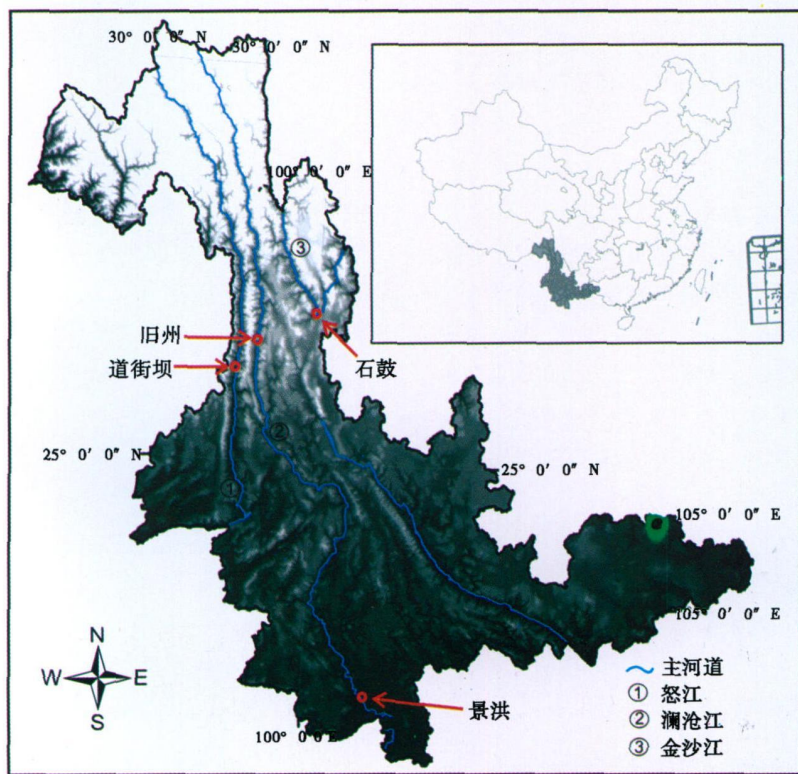


图 1 怒江道街坝站、澜沧江旧州站和景洪站、金沙江石鼓站位置图

Fig. 1 Location map of the Daojieba Station of the Nujiang River, Jiu Zhou and Jinghong

Stations of the Lancangjiang River and the Shigu Station of the Jinshajiang River

呈年际减小的变化趋势。对每个断面来说, 其系数  $a$  和指数  $b$  之间呈现相反的年际变化趋势, 即当系数  $a$  增大 (减小) 的时候, 指数  $b$  在减小 (增大)。

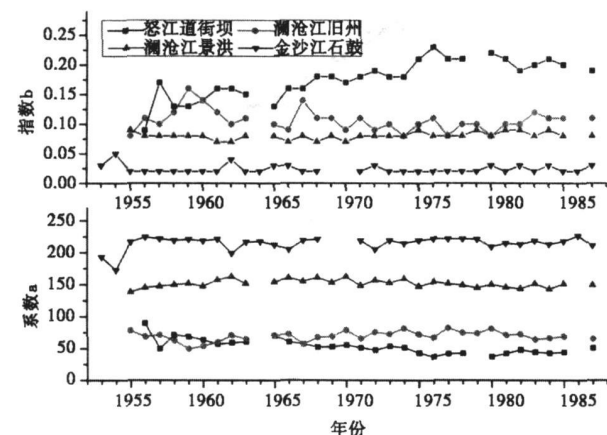


图 2 水面宽与流量幂函数拟合参数随时间的变化

Fig. 2 Annual variety of the parameters in the power function between discharge and water surface width

### 1. 1. 2 系数 $c$ 和指数 $f$ 的年际变化

道街坝站、旧州站、景洪站和石鼓站不同年份的平均水深与流量关系 ( $H = cQ^f$ ) 的系数  $c$  和指数  $f$  的变化趋势如图 3 所示。上述各站的系数  $c$  和指数  $f$  的年际变化的波动性更强, 其中系数  $c$  的年际变化在道街坝站和景洪站呈现增大的趋势, 在旧州站呈现减小的趋势, 而在石鼓站虽然波动幅度大, 但其趋势不明显; 指数  $f$  在道街坝站和景洪站呈现减小的趋势, 在旧州站呈现增大的趋势, 而在石鼓站的变化趋势不明显。而每个断面上系数  $c$  和指数  $f$  之间仍然呈现明显相反的年际变化趋势。

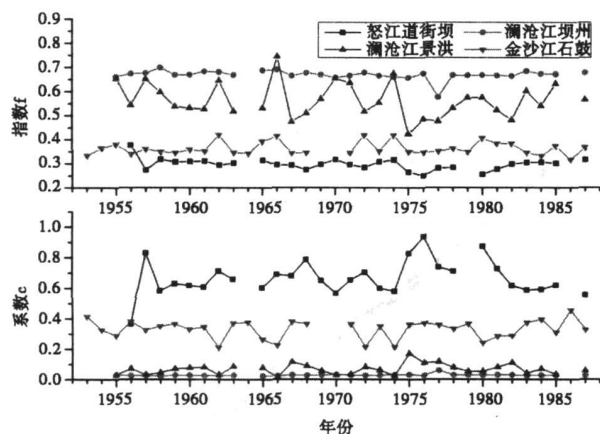


图 3 平均水深与流量幂函数拟合参数随时间的变化

Fig. 3 Annual variety of the parameters in the power function between discharge and mean water depth

### 1. 1. 3 系数 $k$ 和指数 $m$ 的年际变化

道街坝站、旧州站、景洪站和石鼓站流水断面的平均流速与流量关系 ( $U = kQ^m$ ) 的系数  $k$  和指数  $m$  的年际变化趋势如图 4 所示。平均流速与流量关系中的系数  $k$  和指数  $m$  的年际变化在不同站点同样表现出不同的趋势: 系数  $k$  在道街坝站和景洪站呈现增大的趋势, 在旧州站和石鼓站呈现减小的趋势。相反, 其指数  $m$  在道街坝站和景洪站呈现减小的趋势, 在旧州站和石鼓站呈现增大的趋势。对于每个流水断面, 其系数  $k$  和指数  $m$  的年际变化也具有明显的反相关性。

由上述可见, 怒江道街坝站和澜沧江景洪站的参数变化趋势相似, 而澜沧江旧州站和金沙江石鼓站变化趋势相仿。

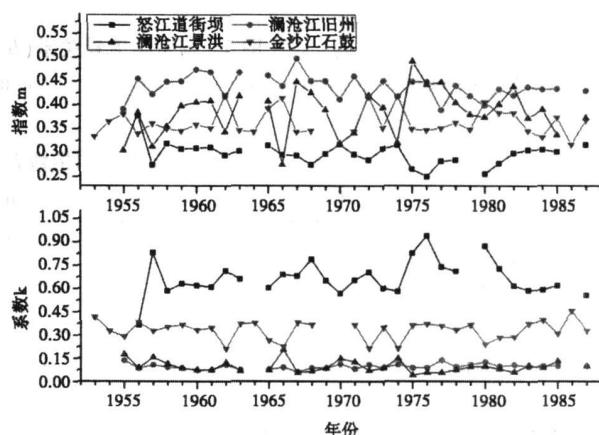


图 4 平均流速与流量幂函数拟合参数随时间的变化

Fig. 4 Annual variety of the parameters in the power function between discharge and mean velocity

## 2 河相关系中系数和指数之间的相互关系

### 2. 1 系数 $a$ 和指数 $b$ 的相互关系

图 5 表明, 道街坝站、旧州站、景洪站和石鼓站历年的河宽与流量关系 ( $B = aQ^b$ ) 中, 其各自的系数  $a$  和指数  $b$  都呈现良好的线性负相关, 其关系式见表 1。

### 2. 2 系数 $c$ 和指数 $f$ 的相互关系

道街坝站、旧州站、景洪站和石鼓站历年的水深与流量关系 ( $H = cQ^f$ ) 中系数  $c$  和指数  $f$  之间的相互关系见图 6。显然, 各个水文站所在断面上, 其水深与流量关系中系数  $c$  和指数  $f$  都表现为良好的线性负相关关系 (表 2)。

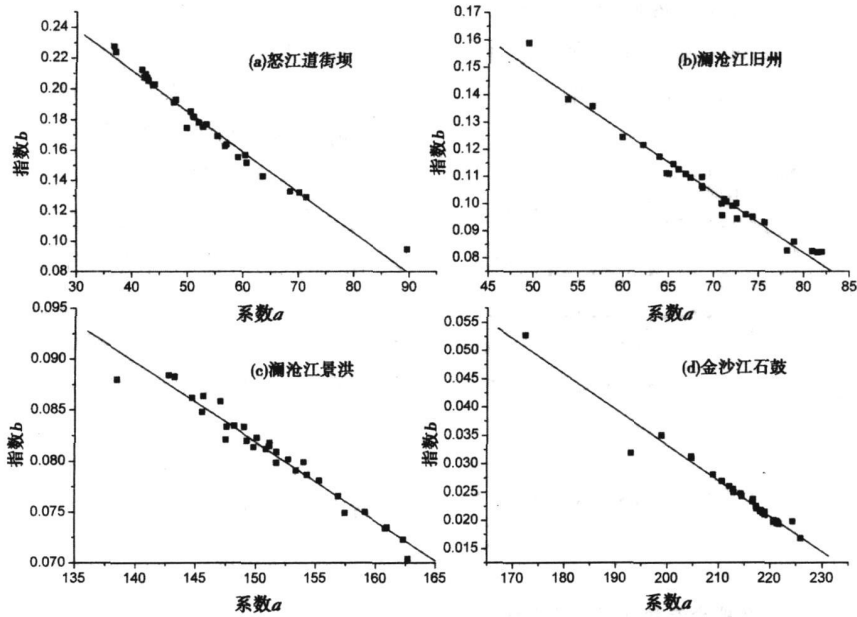


图 5 河宽与流量关系 ( $B = aQ^b$ ) 中系数  $a$  和指数  $b$  关系

Fig. 5 The relationships between coefficient  $a$  and exponent  $b$  in the power function between discharge and water surface width ( $B = aQ^b$ )

表 1 系数  $a$  和指数  $b$  之间的相互关系及相关指标

Table 1 The relationships between coefficient  $a$  and exponent  $b$  and their related indexes

站点	关系式	相关系数 $R^2$	标准偏差 $SD$	样品数 $N$	置信度 $P$
怒江道街坝	$b = 0.318 - 0.0027a$	0.988	0.004 90	29	$< 0.000 1$
澜沧江旧州	$b = 0.260 - 0.002a$	0.985	0.003 00	31	$< 0.000 1$
澜沧江景洪	$b = 0.198 - 0.0007a$	0.979	0.000 98	31	$< 0.000 1$
金沙江石鼓	$b = 0.159 - 0.00063a$	0.983	0.001 23	33	$< 0.000 1$

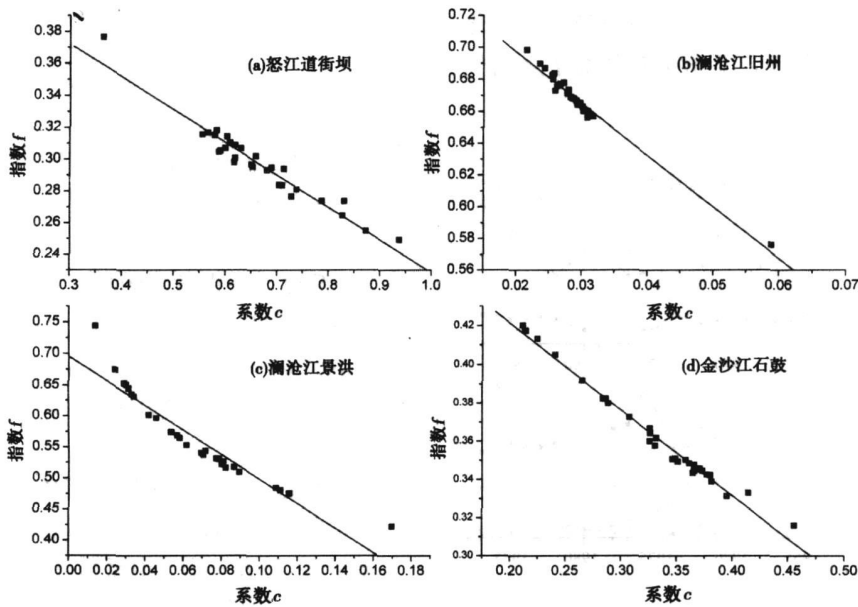


图 6 水深与流量关系 ( $H = cQ^f$ ) 中系数  $c$  和指数  $f$  之关系

Fig. 6 The relationships between coefficient  $c$  and exponent  $f$  in the power function between discharge and mean water depth ( $H = cQ^f$ )

表 2 系数  $c$  和指数  $f$  之间的相互关系及相关指标

Table 2 The relationships between coefficient  $c$  and exponent  $f$  and their related indexes

站点	关系式	相关系数 $R^2$	标准偏差 $SD$	样品数 $N$	置信度 $P$
怒江道街坝	$f = 0.434 - 0.205c$	0.968	0.006 07	29	< 0.000 1
澜沧江旧州	$f = 0.762 - 3.245c$	0.988	0.003 12	31	< 0.000 1
澜沧江景洪	$f = 0.696 - 1.974c$	0.950	0.022 46	31	< 0.000 1
金沙江石鼓	$f = 0.511 - 0.449c$	0.993	0.003 37	33	< 0.000 1

2.3 系数  $k$  和指数  $m$  的相互关系

道街坝站、旧州站、景洪站和石鼓站历年的流速与流量关系 ( $U = kQ^m$ ) 中, 系数  $k$  和指数  $m$  之间的

相互关系见图 7。显然, 各个水文站所在断面上, 其流速与流量关系中系数  $k$  和指数  $m$  之间都表现为良好的线性负相关关系 (表 3)。

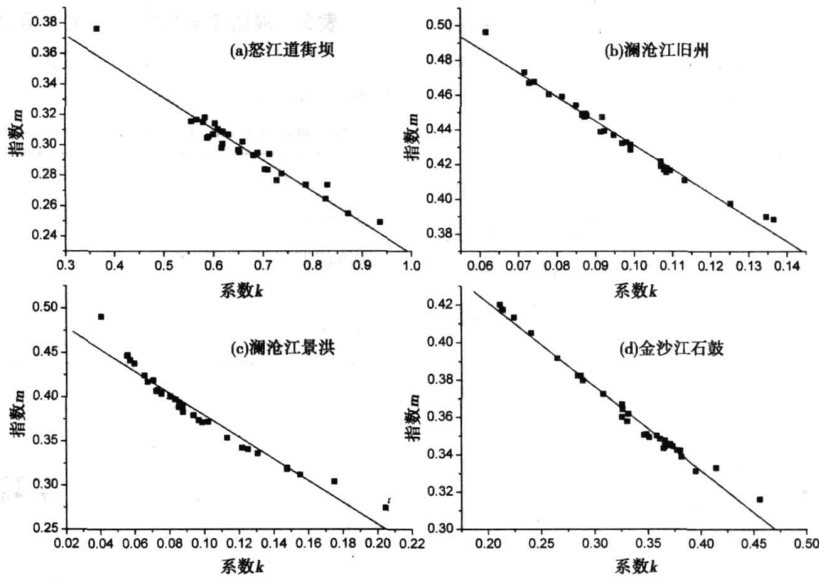


图 7 流速与流量关系 ( $U = kQ^m$ ) 中系数  $k$  和指数  $m$  之关系

Fig 7 The relationships between coefficient  $k$  and exponent  $m$  in the power function between discharge and mean velocity ( $U = kQ^m$ )

表 3 系数  $k$  和指数  $m$  之间的相互关系及相关指标

Table 3 The relationships between coefficient  $k$  and exponent  $m$  and their related indexes

站点	关系式	相关系数 $R^2$	标准偏差 $SD$	样品数 $N$	置信度 $P$
怒江道街坝	$m = 0.434 - 0.205k$	0.968	0.006 07	29	< 0.000 1
澜沧江旧州	$m = 0.570 - 1.388k$	0.989	0.003 67	31	< 0.000 1
澜沧江景洪	$m = 0.503 - 1.236k$	0.973	0.011 35	31	< 0.000 1
金沙江石鼓	$m = 0.511 - 0.449k$	0.993	0.003 37	33	< 0.000 1

表 4 根据多年水文资料建立的河相关系

Table 4 The river regime fitted according to hydrological data measured in 32 years

站点	水面宽 ~ 流量关系	平均水深 ~ 流量关系	平均流速 ~ 流量关系
怒江道街坝	$B = 53.67Q^{0.172}$	$H = 0.637Q^{0.302}$	$U = 0.041Q^{0.485}$
澜沧江旧州	$B = 70.52Q^{0.101}$	$H = 0.130Q^{0.482}$	$U = 0.097Q^{0.433}$
澜沧江景洪	$B = 152.83Q^{0.080}$	$H = 0.039Q^{0.614}$	$U = 0.108Q^{0.360}$
金沙江石鼓	$B = 210.71Q^{0.027}$	$H = 0.291Q^{0.377}$	$U = 0.019Q^{0.575}$

3 河相关系中相关参数的多年统计关系

根据多年所有实测资料拟合的道街坝站、旧州站、景洪站以及石鼓站的河相关式见表 4

怒江道街坝站所有年份水面宽度与流量之间的幂函数的系数和指数分别为 53.67 和 0.172 分别与根据历年相关数据拟合计算所得的系数和指数的平均值 53.15 和 0.18 非常接近。澜沧江旧州站和景洪站的系数值分别为 70.52 和 152.83 分别与根据历年资料拟合计算所得的平均值 69.27 和 151.46 非常接近; 其指数值分别为 0.101 和 0.08, 前者接近多年平均值 0.11, 后者相等。金沙江石鼓站的系数和指数分别为 210.71 和 0.027, 分别与根据历年相关数据拟合计算所得的系数和指数的平均值 214.50 和 0.02 比较接近。

上述 4 站历年流量与平均水深河相关式中的系数平均值分别为 0.666 0.029 0.067 0.331, 其指数的平均值分别为 0.297 0.668 0.563 0.362。与表 4 中的对应数值进行比较, 发现只有部分数据比较接近, 个别相差较大。

上述 4 站历年流量与平均流速关系式中的系数

平均值分别为 0.666 0.096 0.097 0.331, 其指数的平均值分别为 0.297 0.437 0.938 0.991。与表 4 中的对应数值进行比较, 发现只有澜沧江旧州站的对应数据比较接近, 其他的差别明显。

4 河相关系中的系数积与指数和

根据多年资料综合统计所得的上述 4 站河相关式的系数及其乘积见表 5 指数及其和见表 6。而据历年实测水流断面所得的系数及其乘积以及指数及其和见图 8。

表 5 根据多年数据资料统计得出的三江云南段河相关系的系数特征

Table 5 The coefficient characteristics in the river regimes fitted according to the data measured during 32 years of the three rivers at the Yunnan reaches

断面位置	流速系数	河宽系数	水深系数	系数积
怒江道街坝站	0.040 6	53.67	0.637	1.388
澜沧江旧州站	0.096 8	70.52	0.130	0.887
澜沧江景洪站	0.108 1	152.83	0.039	0.644
金沙江石鼓站	0.019 3	210.71	0.291	1.183

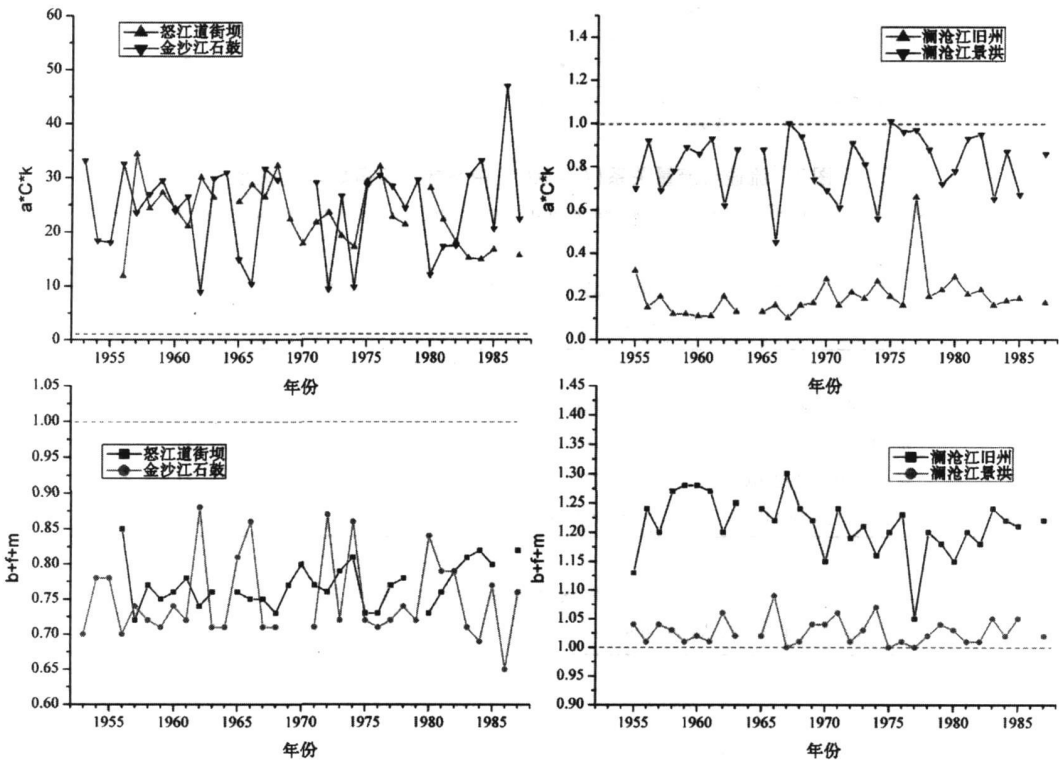


图 8 河相关系中的系数积及指数和的年际分布

Fig. 8 Annual distribution of the coefficient product and exponent sum in each river regime

表 6 根据多年数据资料统计得出的三江云南段河  
相关系的指数特征

Table 6 The exponent characteristics in the river regimes fitted according  
to the data measured during 32 years of the three rivers at the Yunnan reaches

断面位置	流速指数	河宽指数	水深指数	指数和
怒江道街坝站	0.485	0.172	0.302	0.959
澜沧江旧州站	0.433	0.101	0.482	1.016
澜沧江景洪站	0.360	0.080	0.614	1.054
金沙江石鼓站	0.575	0.027	0.377	0.979

理论上, 河相关系式的系数积和指数和应该分别等于 1, 从表 5 表 6 可以看出, 系数积离数值 1 仍然有差距, 而指数和近似等于 1。

5 流水断面宽深比与流量的关系

由 (1) 和 (2) 式可知, 流水断面宽深比与流量的关系可以表示为

$$BH = aQ^b / cQ^f = a / cQ^{b-f} \tag{4}$$

取多年平均数值, 怒江道街坝、澜沧江旧州和景洪、金沙江石鼓站流水断面宽深比随流量的变化关系式分别表示如下

$$BH = 84.71Q^{-0.12} \tag{5}$$

$$BH = 2448.98Q^{-0.563} \tag{6}$$

$$BH = 3096.77Q^{-0.484} \tag{7}$$

$$BH = 671.45Q^{-0.338} \tag{8}$$

这些函数的曲线如图 9 所示。这表明, 研究区山地河流的流水断面宽深比随着流量的增大而减小, 减小率在怒江的道街坝站最小, 在金沙江石鼓站次之, 而在澜沧江景洪站最大。

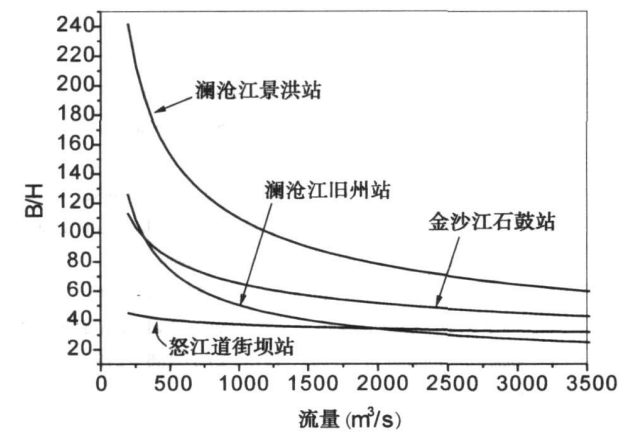


图 9 流水断面宽深比与流量的关系曲线  
Fig 9 The relation curves between discharge and  
the width/depth ratio of river flow

7 讨论和结论

河相关系中, 同一断面的系数  $a$ 、 $c$ 、 $k$  以及指数  $b$ 、 $f$ 、 $m$  的年际变化有一定起伏, 但各个参数都保持在一定的区间内, 这表明特定断面上河相关系的稳定性。不同断面上的系数或指数彼此之间在数值大小上有差别, 表明断面几何形态在响应流水的调整上有一定差别。另外, 对比不同断面可以发现, 在河宽 ~ 流量关系中, 系数  $a$  波动幅度都不大, 但怒江道街坝断面的指数  $b$  的波动幅度明显大于其他各断面的; 平均水深 ~ 流量关系中, 系数  $c$  的年际波动幅度在怒江道街坝断面变幅最大, 指数  $f$  的年际波动幅度在澜沧江景洪断面最大; 平均流速 ~ 流量关系中, 系数  $k$  的年际波动幅度在怒江道街坝断面最大, 指数  $m$  的年际波动幅度在澜沧江景洪断面最大。上述 4 个断面中, 除了澜沧江景洪断面位于滇西南端, 其他 3 个位于滇西偏北部的峡谷中, 从西向东分别为怒江道街坝、澜沧江景洪、金沙江石鼓。显然, 水力几何形态的年际变化幅度在怒江道街坝相对最大, 在景洪旧州断面明显变小, 而在金沙江石鼓断面最小, 这与各断面距离板块碰撞的前缘地带的远近有关。澜沧江景洪断面位于滇西南端, 其河相关系的年际变化幅度远比其他北部的旧州断面的明显, 这受到澜沧江在滇西北河流地貌分异的影响, 其河床具有部分冲积特性, 加之该断面上游水库的建设导致河床冲淤调整态势增大, 从而造成其水力几何形态在年际变化上呈现出一定程度的波动。

对于同一断面河相关系的任一函数来说, 其系数和指数之间具有很好的线性负相关关系, 其相关系数  $R^2$  都大于 0.95。显然, 在各个流水断面的任一河相关系中, 其系数和指数之间均具有密切的互动关系, 并共同决定着河相关系的变化趋势。

根据历年河相关系中求得的各个系数以及指数的平均值与根据多年水文数据拟合得到对应参数的数值之间具有一定的差异, 其中后者更能较准确地反映某一断面的水力几何形态特征, 从而可以用来预测给定流量时的水力几何形态或给定水力几何形态时的流量大小。

历年河相关系的系数积和指数和理论值 1 偏差相对较大, 而根据多年水文数据拟合得到的系数积以及指数和偏离理论值 1 相对较小, 尤其是后者。这不仅是山地河流的表现, 对于许多冲积河流来说,



系数积或指数和真正等于 1 的并不多见, 大多数都有不同程度地偏差, Richards<sup>[32]</sup> 所列的 12 条河流 24 个断面的指数值就是证明。对比 4 个水文站的河相关系中, 澜沧江景洪站的系数积以及指数和相对其他各站更接近于 1, 而由上述水文站所处的地貌部位及具有的特性来看, 景洪站位于南部并远离其他各站, 而且其河道具有部分冲积特性, 而北部 3 个水文站完全位于非冲积性的山地河段中, 这表明, 具有冲积特性的河段其河流对河道的调整功能较强, 从而反映在其河宽、水深和流速三者之间的相互关系更为密切。

根据河相关系中河宽和水深的流量函数, 可以得到流水断面宽深比与流量的函数, 同时根据多年水文资料的拟合可以求得有关方程的系数和指数, 从而可以用来预测给定流量时的断面宽深比或给定断面宽深比时的流量大小。

综合上述, 可以得出如下初步结论:

1. 与冲积河流一样, 山地河流的水流断面形态特征也可以用类似的河相关系式来表达。河道边界条件的不同对此并无明显的影响。

2. 在滇西的北部, 怒江河相关系的年际变化幅度相对较大, 澜沧江的次之, 而金沙江的最小, 即由西向东河流的水力几何形态的年际变化幅度在减小。这可能与其所处的构造部位不同有关, 西部的河流断面受到地质构造隆升的影响较大。

3. 沿流程可以发现, 澜沧江北部断面的河相关系年际变化相对稳定, 而南部的较不稳定。这与澜沧江在滇西南部的河流地貌分异有关, 也与大坝建设等人类活动引起河流南部河床冲淤的强度增大有关。

4. 系数积及指数和表明, 山地河流流水断面的调整由于受到基岩或卵石的影响, 其河宽、水深和流速之间的协调能力比冲积性河流的小。

5. 根据原有河相关系式及多年水文数据拟合而得到的宽深比河相关系, 可以用来预测研究区不同河流在给定流量时的断面宽深比或给定断面宽深比时的流量大小。

## 参考文献 (References)

- [1] Lacey, G. A. A theory of flow in alluvium [J]. *Journal of the Institute of Civil Engineers, London*, 1946, 21: 3~6
- [2] Leopold, L. B. and Maddock, T. Jr The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications [C]. U. S. Geol. Survey Professional Paper, 1953 252

- [3] Qian Nng, Zhang Ren, Zhou Zhile Channel Bed Evolution [M]. Beijing Science Press 1987 584 [钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987 584]
- [4] Knighton, A. D. Variation in width-discharge relation and some implications for hydraulic geometry [J]. *Geol. Soc. America. Bull.*, 1974 85 1069~1076
- [5] Chang H. H. Geometry of rivers in regime [J]. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 1979 105 691~706
- [6] Carragher, M. J., Klein, M., and Petich, J. R. Channel width-discharge area relations in small basins [J]. *Earth Surf. Process Landforms* 1983, 8 177~181
- [7] Abraham, A. D. Spatial dependency of hydraulic geometry exponents in a subalpine stream—comments [J]. *Journal of Hydrology*, 1985 75 389~393
- [8] Knighton, A. D. and Cryer, R. Velocity-discharge relationships in three lowland rivers [J]. *Earth Surf. Process Landforms*, 1990 15 501~512
- [9] Ni Jinren, Zhang Ren. Several methods on river regime and their relations [J]. *Journal of Geography*, 1992 47(4): 368~375 [倪晋仁, 张仁. 河相关系研究的各种方法及其间关系 [J]. 地理学报, 1992, 47(4): 368~375]
- [10] HuiYujia. River regime at lateral profiles of the lower Yellow River after the construction of the Xiaolangdi Reservoir [C]. In: Second Symposium of the Basic Theory on Water and Sediment in China [A]. Beijing: China Structural Material Industry Press, 1995 449~458 [惠遇甲. 黄河小浪底水库修建后下游河道的断面河相关系 [C]. 见: 第二届全国泥沙基本理论研究学术讨论会文集 [A]. 北京: 中国建材工业出版社, 1995 449~458]
- [11] Fang Chunming. Supply condition analysis in research river regime [J]. *Sediment Research*, 1999 (2): 65~71 [方春明. 分析河相关系时的补充条件分析 [J]. 泥沙研究, 1999, (2): 65~71]
- [12] Huang, H. Q. and Nanson, G. C. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action [J]. *Earth Surf. Process Landforms* 2000 25 1~16
- [13] Castro, J. M., Jackson, P. L. Bankfull discharge recurrence intervals and regional hydraulic geometry relationships: Patterns in the Pacific Northwest, USA [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001 37(5): 1249~1262
- [14] Dudley, R. W. Hydraulic-geometry Relations for Rivers in Coastal and Central Maine [R]. U. S. Geological Survey Scientific Investigation Report 2004: 2004~5042
- [15] Ap, C. D., Schmidt, J. C., Baker, M. A., Myers, A. K. Stream geomorphology in a mountain lake district: hydraulic geometry, sediment sources and links and downstream lake effects [J]. *Earth Surf. Process Landforms* 2007 32 525~543
- [16] Knighton, A. D. Variations in at-a-station hydraulic geometry [J]. *American Journal of Science*, 1975 275 186~218
- [17] Dingham, S. L. Analytical derivation of at-a-station hydraulic geometry relations [J]. *Journal of Hydrology* 2007 334 17~27
- [18] Carlson, C. W. Downstream variations in the hydraulic geometry of streams—special emphasis on mean velocity [J]. *American Journal of Science* 1969, 267: 499~509



- [19] Allen P. M., Amold J. G. and Byars B. W. Downstream channel geometry for use in planning-level models [J]. *Water Resources Bulletin*, 1994, 30(4): 663~671
- [20] Griffiths G. A., Downstream hydraulic geometry and hydraulic similitude [J]. *Water Resources Research*, 2003, 39(4): 1094
- [21] Merritt D. M. and Whole E. E. Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral arid-region drainage [J]. *Geomorphology*, 2003, 52: 165~180
- [22] Phillips J. D. The instability of hydraulic geometry [J]. *Water Resources Research*, 1990, 26: 739~744
- [23] Rhodes D. D. The b-f-m diagram for downstream hydraulic geometry [J]. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 1987, 69(1): 147~161
- [24] Knighton A. D. Comments on log-quadratic relations in hydraulic geometry [J]. *Earth Surface Process*, 1979, 4: 205~209
- [25] Hubert H. G. Savenije, The width of a bankfull channel Lacey's formula explained [J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 276: 176~183
- [26] Mohanoud Y. M. and Pamar R. S. Estimation streamflow and associated hydraulic geometry, them id-ataltic region USA [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2006, 755~768
- [27] Andrews E. D. Bed-material entrainment and hydraulic geometry of gravel-bed rivers in Colorado [J]. *Geol Soc America Bull.*, 1984, 95: 371~378
- [28] Millar R. G. Theoretical Regime Equation for Mobile Gravel-Bed Rivers with Stable banks [J]. *Geomorphology*, 2005, 64: 207~220
- [29] Whole E. E., Kuma J. N., and Brown N. E. Reach-scale channel geometry of a mountain river [J]. *Earth Surf. Process Landforms*, 2004, 29: 969~981

## River Regime and Its Variety of the Mountainous Rivers Nujiang Lancangjiang and Jinshajiang Rivers for Their Reaches in Yunnan Province of China

WANG Suji<sup>1</sup>, WEI Quanwei<sup>2</sup>, TAN Lihua<sup>2</sup>, MIN Shitou<sup>1,3</sup>, RAN Lishan<sup>1,3</sup>

(1. Key laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** The theory on river regime has been applied to study of fluvial rivers thus far and gained favourable effects. However, it has not been applied to study of non-fluvial mountainous rivers. The theory whether is suitable for characterization of the mountainous river? In this study it was selected the Daojiba Station of the Nujiang River, Jiu Zhou and Jinghong Stations of the Lancangjiang River and Shigu Station of the Jinshajiang River as the study profiles of river flow. All the stations are located in mountainous region. The annual and mean relations between discharge and river width, discharge and mean river depth, and discharge and flow velocity for each one of the stations are analyzed according to hydrological data of annual survey from 50 to 80 decade in last century. The results show that the theory on river regime is also suitable and effective to study of non-fluvial mountainous river. It indicates that the channel evolution of non-fluvial mountainous rivers follows a similar rule as that for fluvial rivers. The correlative parameters of the annual river regimes gradually decrease from Nujiang River in the west to Lancangjiang River in the middle to Jinshajiang River in the east. It is coincident to the decrease of tectonic uplift along the direction. The annual variety of the river regimes for the Lancangjiang River is correspondingly not evident at north and evident at south. It relates to the landform differentiation from north to south. It also relates to the increase of channel bed adjustment result in human activity such as dam constructions in the southern reach of the river. Coefficient product and exponent sum of the river regimes show that the harmonious ability between the width, mean depth and mean velocity in adjustment of flow profiles of non-fluvial mountainous rivers are far smaller than that for fluvial rivers. Another river regime, the relation between discharge and width/depth ratio of river flow is established. This relation not only abundances the study content of the river regime but also has important significance in forecast the profile form or discharge of river flow in different rivers or different reaches in the study area.

**Key words** river regime, mountainous river, Nujiang, Lancangjiang, Jinshajiang, Yunnan Province